

По результатам исследования заключили, что для достижения максимальных значений ударной вязкости KCV⁻⁶⁰ для данного типа стали оптимальная температура отпуска составляет 650 °С. Микроструктура стали при данной температуре идентифицирована как сорбит отпуска. В стали наблюдается большое количество карбидных частиц, форма которых приближается к сферической. Размер бывших мартенситных игл составляет 25-30 мкм.

На основании экспериментальных исследований выявлены закономерности изменения микроструктуры твердости и ударной вязкости в зависимости от температуры отпуска. Для экспериментальной экономно-легированной конструкционной стали типа MAGSTRONG W700 наиболее удовлетворительные результаты, обеспечивающие достижение высоких прочностных и вязко-пластических свойств, получены в сочетании с температурой закалки 930 °С и температурой отпуска 650 °С.

Работа проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России (договор 03.G25.31.0235).

Литература

1 Минэкономразвития России. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – <http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz> – 21.05.2018.

2 Каталог MAGSTRONG Высокопрочные и износостойкие свариваемые стали http://www.mmk.ru/catalogs/metal_products/magstrong/# – 21.05.2018.

УДК 669.36, 669-135

КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ ТРАВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТРУБЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Шимов Г.В., Завалин А.А.

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия
geosh@bk.ru*

В мировой практике трубы для атомной энергетики (трубы ТВЭЛов, теплообменные трубы парогенераторов, трубы для сепараторов подогревателей, генераторов) изготавливаются из коррозионностойких сталей, таких как AISI 321, AISI 304 и др. Основной причиной выхода из строя труб из марок стали этого класса является протекание коррозионных процессов под действием остаточных напряжений. Это приводит к

проявлению межкристаллитной коррозии (МКК) и коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН) труб арматуры АЭС. Остаточные напряжения в трубах непосредственно влияют на стойкость труб против таких видов коррозии в агрессивной среде.

Обзор известных и применяемых способов измерения остаточных напряжений показал, что большинство методов нацелены на измерение микронапряжений, то есть напряжений 1 рода. Практически всеми «новыми» методами неразрушающего контроля остаточных напряжений в металлопродукции, такими как рентгеновские, ультразвуковые, оптические, магнитные и др., измеряют остаточные напряжения между атомами кристаллической решетки металла. Вместе с тем остаточные напряжения 2 рода, то есть межзеренные и субзеренные напряжения, и 3 рода, то есть макронапряжений, уравновешенные «в объеме всего тела» практически не могут быть зафиксированы способами неразрушающего контроля. Следует отметить, что именно напряжения 2 и 3 рода влияют на качество и точность производства труб на финишных операциях.

Для фиксации остаточных напряжений в трубах применяется метод «разрезки колец». Суть метода заключается в отрезке от трубы тонкого кольца, разрезке его по образующей и последующей фиксации упругого сжатия или раскрытия кольца в месте реза. Этим способом определяют тангенциальные остаточные напряжения в трубе. Недостатки этого способа очевидны и давно известны. Дело в том, что в момент отрезки кольца поле остаточных напряжений неизбежно меняется, (в том числе и тангенциальных) и в реальности измеряются остаточные напряжения в отдельно взятом кольце, которые могут не иметь ничего общего с напряжениями в исходной трубе.

В работе [1] описана расчетная методика определения остаточных напряжений, основанная на «энергетическом подходе» [2], которая также как и метод «разрезки колец» основана на методе «расчленения», но предполагает применение метода стравливания поверхностного слоя с трубы. После снятия поверхностного слоя и фиксации упругой релаксации по длине рассчитываются остаточные напряжения по всему сечению стенки трубы.

Для практической реализации и апробации предложенной методики необходимо разработать конструкцию установки для стравливания тонкого поверхностного слоя с трубы. Установка, предназначенная для проведения экспериментов по измерению продольных остаточных напряжений, должна обеспечивать высокую равномерность стравливания поверхностного слоя, иметь удобную процедуру заливки и слива электролита, а также она должна обеспечивать быструю и удобную установку и снятие образца. Кроме того установка должна обеспечивать безопасность работы для оператора и окружающих, поэтому конструкция должна быть устойчивой с целью не допустить опрокидывания ванны с электролитом. Еще одной

проблемой реализации способа является то, что в процессе травления продукты реакции не равномерно отводятся от поверхности. В верхней части образующиеся пузырьки беспрепятственно всплывают в электролите, а в нижней части образца образуется слой «прилипания» пузырьков, который нарушает нормальную кинетику процесса.

Для решения данной проблемы было применено непрерывное вращение образца в процессе травления в ванне с электролитом. Сложность конструктивных решений подвода крутящего момента к образцу обуславливается агрессивностью среды травления, а также необходимостью непрерывного подведения тока к образцу. Единственным возможным вариантом конструкции установки является подвод крутящего момента к образцу через гибкий привод вращения, при этом подведение тока через подшипник качения, установленный непосредственно на образце. На рис. 1 показан внешний вид проектируемой установки травления.

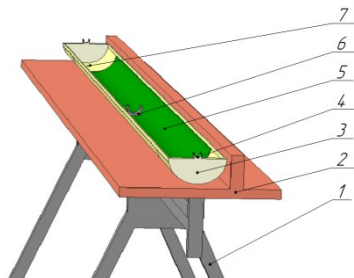


Рис. 1. Установка для травления поверхностного слоя и определения продольных остаточных напряжений на поверхности образца:

- 1 – станина; 2 – стол; 3 – травильная ванна;
4 – держатель гибкого привода; 5 – стальной лист (катод);
6 – фиксатор подшипника; 7 – сливное отверстие

На разрабатываемой установке применяются образцы труб длиной от 1 м до 2,5 м. В качестве электролита предполагается использовать раствор кислот, содержащий H_3PO_4 – 86%, Cr_2O_3 – 12% (в граммах) и H_2SO_4 – 2%. Ток на пару подшипник – стальной лист будет подаваться через выпрямитель электрического тока. Образцы труб предварительно измеряются, на них одевается подшипник, производится изоляция торцов с помощью полипропиленовых пробок.

Внешний вид сконструированной установки показан на рис. 2. Работа установки начинается с заполнения электролитом ванны, включения привода вращения. При этом необходимо убедиться, что образец вращается ровно по отношению к оси установки, нет сильных биений, нет утечек или брызг электролита. Если все элементы конструкции работают

корректно, то на подшипник и ванну устанавливаются зажимы с проводами, ведущими к источнику тока, засекается время травления и подается напряжение. Перед включением источника тока на нем выставляются требуемые значения напряжения и силы тока.

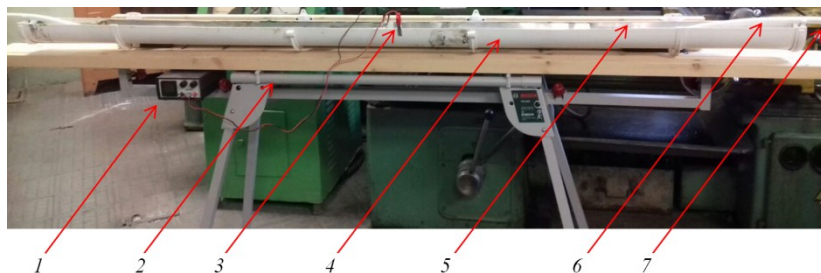


Рис. 2. Внешний вид установки травления:
1 – источник тока; 2 – станина; 3 – контакты;
4 – ванна; 5 – стальная лента; 6 – гибкий привод;
7 – вал, ведущий к двигателю вращения

После окончания расчетного времени травления выключается источник тока, от подшипника и ванны отсоединяются контакты с проводами, от гибкого привода вращения отсоединяется двигатель и образец вместе с гибким приводом извлекается из установки. Затем необходимо обмыть весь образец от остатков электролита (может применяться водяное душирование) и просушить. После просушки от образца отсоединяются гибкие приводы, снимаются торцевые заглушки, подшипник и слой изолятора с торцов образца. Измерение длины образца после эксперимента осуществляется на измерительном стенде.

Таким образом, в работе описана конструкция установки травления и методика проведения эксперимента по снятию тонкого поверхностного слоя металла и фиксации упругой разгрузки трубы по длине. Величина упругой разгрузки необходима для расчета остаточных напряжений в тонком поверхностном слое, а также распределения остаточных напряжений в стенке трубы [1].

Литература

1. Shimov, G. V., Rapid Method for Determining the Distribution of Residual Stresses in Pipes. Materials Performance and Characterization. Vol. 4, No. 7, 2018. <https://doi.org/10.1520/MPC20170050>
2. Патент РФ №2366912. Способ определения остаточных напряжений /Колмогоров Г.Л., Кузнецова Е.В. Пермский государственный техн. университет. Оpubл. 10.09.2009, БИ №25.